



TUGAS AKHIR - RG 141536

ANALISIS PEMODELAN 3D CANDI JAWI MENGUNAKAN WAHANA *QUADCOPTER* DAN *TERESTRIAL LASER SCANNER (TLS)*

YULITA EKA RANA MULYONO
NRP 03311440000025

Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

JAWI TEMPLE 3D MODELING ANALYSIS USING QUADCOPTER AND TERESTRIAL *LASER* SCANNER (TLS)

YULITA EKA RANA MULYONO
NRP 03311440000025

Supervisor
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

Geomatics Engineering Department
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

**ANALISIS PEMODELAN 3D CANDI JAWI
MENGUNAKAN WAHANA *QUADCOPTER* DAN
TERESTRIAL LASER SCANNER (TLS)**

Nama Mahasiswa : Yulita Eka Rana Mulyono
NRP : 03311440000025
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pemetaan semakin beragam dan terus berkembang. Hal ini merupakan suatu kemudahan namun sekaligus perlu pengujian agar dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Salah satu contoh perkembangan teknologi alat survei dan pemetaan ialah berkembangnya wahana Quadcopter dan Terrestrial Laser Scanner (TLS). Penerapan kedua teknologi ini bukan hanya untuk pemetaan terestris semata, melainkan juga dapat dimanfaatkan sebagai alat akuisisi data untuk keperluan pemodelan 3D suatu objek. Dalam penelitian ini, alat tersebut dicobakan untuk akuisisi data bangunan cagar budaya agar diperoleh model tiga dimensinya dengan tujuan akhir hasilnya dapat disimpan sebagai arsip, digunakan sebagai media penelitian dan dapat dimanfaatkan jika sewaktu-waktu roboh dan memerlukan rekonstruksi ulang oleh Dinas Kebudayaan dan Pariwisata. Akuisisi data dengan alat tersebut dikerjakan pada sebuah candi di Jawa Timur yaitu Candi Jawi. Akuisisi data Candi Jawi meliputi pemotretan dengan Quadcopter, pengamatan titik GCP, pengukuran ICP, dan pemindaian candi dengan TLS.

Hasil yang diperoleh menunjukkan model tiga dimensi dari data foto Quadcopter memiliki RMSe X, Y, Z sebesar 0.017 meter, 0.018 meter, dan 0.018 meter. Sementara besar nilai RMSe model tiga dimensi data point cloud TLS untuk X, Y, dan Z ialah 0.062 meter, 0.231 meter, dan 1.464 meter. Nilai kedua model dari kedua alat menunjukkan hasil yang relatif kecil karena bernilai kurang dari 0,5 meter dan memenuhi syarat LoD 3 untuk konsep visualisasi eksterior model bangunan, kecuali pada nilai RMSe Z model 3D data point cloud TLS.

Kata Kunci—model 3D, data quadcopter, data TLS, RMSe

JAWI TEMPLE 3D MODELING ANALYSIS USING QUADCOPTER AND TERESTRIAL LASER SCANNER (TLS)

Name : Yulita Eka Rana Mulyono
Registration Number : 03311440000025
Department : Geomatics Engineering
Supervisor : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

ABSTRACT

Survey and mapping technology nowadays has been develop variously. This provide many easiness but also testing is required to maximize its potential. Quadcopter and Terrestrial Laser Scanner (TLS) are products of technology development. The application of both technology are for terestrial mapping and 3D modeling purposes. In this research both equipments is used for data acquisition of Jawi Temple, located in East Java. The goal of this activity is to obtain the 3D model of Jawi temple as a historical building document that can help Department of Tourism, Art, and Culture in case the temple is collapsed or damaged. Data acquisition activities include photography, GCP observation, ICP measurement, and TLS scanning.

The result of 3D model from Quadcopter image data has RMSe X, Y, Z about 0.017 meter, 0.018 meter, and 0.018 meter. Meanwhile 3D model from TLS has RMSe X 0.062 meter, RMSe Y 0.231 meter, and RMSe Z 1.464 meter. Both 3D models are acceptable for LoD 3 (accuracy under 0.5 meter), except RMSe Z for 3D model of TLS data. Next, this method can be applied for other historical building for preserving the nation's heritage and culture.

Keywords: 3D model, Quadcopter data, Laser Scanner data, RMSe

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PEMODELAN 3D CANDI JAWI MENGUNAKAN WAHANA QUADCOPTER DAN TERESTRIAL *LASER* SCANNER (TLS)

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

YULITA EKA RANA MULYONO
NRP 03311440000025

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA
NIP. 19690520 199903 1 002

(*[Signature]*)



ix

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul “Analisis Pemodelan 3D Candi Jawi Menggunakan Wahana Quadcopter dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*” ini dengan baik. Tugas Akhir (TA) ini dibuat untuk memenuhi salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 pada Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama pelaksanaan Tugas Akhir (TA) dan penyusunan Laporan Tugas Akhir (TA) ini, banyak pihak telah memberikan bantuan kepada penulis. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dan doa restu.
2. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Yanto Budisusanto, S.T., M.Eng., selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. LPPM ITS yang telah mendanai kegiatan akuisisi data di lapangan.
6. Pengelola sistus Candi Jawi yang telah mengijinkan penulis untuk melakukan akuisisi data lapangan.
7. Bapak Ir. Yuwono dan Bapak Danar Guruh Pratomo, Ph.D., yang telah mendampingi proses akuisisi data lapangan.
8. Bapak Rizki Indra Permadi, S.T., anggota dari PT.NPC Laboratorium yang telah membantu akusisi data lapangan dan memberi banyak kritik, saran, dan semangat dalam menyelesaikan penelitian.

9. PT. EXSOL Trimitra yang telah meminjamkan alat TLS dan membantu proses akuisisi data lapangan.
10. Bapak Yosario, S.T., pemilik PT.NPC Laboratorium yang telah bersedia meminjamkan fasilitas kantor untuk keperluan olah data.
11. Segenap Bapak Ibu Dosen beserta staf Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir.
12. Teman-teman yang sudah membantu kelancaran akuisisi data lapangan (mas Hamsa, mas Nizar, mas Aryan), dan teman-teman yang pernah direpotkan untuk percobaan olah data (Dito dan Andreas).
13. Teman-teman laboratorium KKP atas semangat dan candaan termasuk hujan yang membangun selama mengerjakan laporan (Andreas, Brian, Elisya, Kevin, mas Ilyas, dan mas Fikri).
14. Teman – teman Teknik Geomatika ITS angkatan 2014 yang saling mendukung demi keberhasilan mengejar kelulusan.

Laporan Tugas Akhir (TA) ini disusun sebagai penunjang untuk menambah wawasan ilmu pengetahuan kepada para pembaca.

Surabaya, 20 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fotogrametri Jarak Dekat.....	5
2.2 Kamera Non-Metrik	7
2.3 Kalibrasi kamera	7
2.4 Structure From Motion (SFM)	8
2.5 Digital Image Matching	9
2.6 3D Model	10
2.7 Kualitas Pemodelan Obyek 3 Dimensi.....	13
2.8 Terrestrial <i>Laser</i> Scanning	14

2.8 Sinar <i>Laser</i> pada TLS.....	16
2.9 Prinsip Pengukuran TLS	17
2.10 Teknik Registrasi Data.....	20
2.11 Georeferensi	22
2.12 Aplikasi TLS.....	22
2.13 Sumber-Sumber Kesalahan pada Pengukuran TLS	23
2.14 Pengolahan Data TLS	23
2.15 Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Lokasi Penelitian.....	33
3.2 Data dan Peralatan.....	33
3.3 Metodologi Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Foto objek penelitian.....	41
4.2 <i>Ground Control Point</i> (GCP) dari Pengukuran GPS.....	41
4.3 <i>Independent Check Point</i> (ICP) menggunakan Total Station	43
4.4 Model 3D data foto	46
4.5 Independent Check Point (ICP) model.....	48
4.6 RMSe ICP – data foto	49
4.7 Pengukuran Candi Jawi dengan Terrestrial <i>Laser</i> Scanner	50
4.8 Model 3D data TLS.....	51

4.9 Independent Check Point (ICP) data TLS	54
4.10 RMSe ICP data TLS.....	55
4.11 Analisis geometri model 3D.....	56
4.12 Analisis berdasarkan waktu.....	57
4.13 Analisis berdasarkan biaya.....	58
4.14 Analisis berdasarkan format data	59
BAB V KESIMPULAN.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	67
BIODATA PENULIS	73

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Konsep kolinearitas (Atkinson, 1996).....	6
Gambar 2. 2. Posisi pengambilan gambar teknik SFM.....	9
Gambar 2. 3. Level of Detail.....	12
Gambar 2. 4. Level of Detail.....	12
Gambar 2. 5. Ilustrasi <i>beam waist</i> dan <i>beam divergance</i>	16
Gambar 2. 6. <i>Laser Beam Expander</i>	17
Gambar 2. 7. Sistem sumbu koordinat <i>laser scanner</i>	21
Gambar 2. 8. Diagram alir umum pengolahan data TLS	24
Gambar 3. 1. Lokasi objek penelitian.....	33
Gambar 3. 2. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	35
Gambar 3. 3. Diagram Alir Pengolahan Data	37
Gambar 4. 1. Sampel foto <i>POI</i>	41
Gambar 4. 2. Lokasi sebaran GCP	42
Gambar 4. 3. Proses Alignment Photos	46
Gambar 4. 4. Hasil Tahap Build Dense Cloud.....	47
Gambar 4. 5. Hasil Tahap Build Mesh.....	47
Gambar 4. 6. Hasil Texturing	48
Gambar 4. 7. Sebaran Posisi Berdiri Alat TLS	51
Gambar 4. 8. Tampilan Fitur Planar View Titik Jawi005.....	52

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tabel Persyaratan Akurasi LOD	13
Tabel 4. 1. Tabel Koordinat GCP	42
Tabel 4. 2. Jarak dan Nilai RMSe Pengamatan Titik GCP	42
Tabel 4. 3. Tabel Koordinat ICP Pengukuran	45
Tabel 4. 4. Geometri Model 3D Data Olahan Quadcopter	48
Tabel 4. 5. Koordinat ICP Model.....	48
Tabel 4. 6. RMSe ICP Model 3D Data Foto.....	49
Tabel 4. 7. Koordinat ICP Model 3D Hasil Olahan Data Alat TLS	54
Tabel 4. 8. RMSe ICP model 3D TLS	55
Tabel 4. 9. Waktu Pengerjaan Pemodelan 3D Dengan Wahana Quadcopter dan TLS	57
Tabel 4. 10. Estimasi Pembiayaan	58
Tabel 4. 11. Format data	59

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemasangan marker dan pengamatan titik GCP	67
Lampiran 2. Pengukuran titik ICP Menggunakan Total Station.....	68
Lampiran 3. Pengukuran Candi Jawi dengan Alat Terrestrial <i>Laser</i> Scanner (TLS)	69
Lampiran 4. Pengambilan data foto Candi Jawi	70

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Candi sebagai salah satu unsur Cagar Budaya dalam kategori Bangunan Cagar Budaya (UU Nomor 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya Pasal 1 Ayat 1) merupakan suatu wujud dokumen yang memiliki peran penting terkait perjalanan bangsa Indonesia. Dokumen berfungsi untuk memperpanjang ingatan bangsa, baik menyangkut pelaksanaan kegiatan, peraturan, atau pelaku sejarah. Karena pentingnya manfaat dokumen, maka kegiatan dokumentasi Cagar Budaya menjadi salah satu bagian pekerjaan pelestarian terhadap Cagar Budaya yang tidak dapat diabaikan. Dengan adanya dokumentasi yang baik maka data tentang Cagar Budaya dapat selalu dilestarikan dan dimanfaatkan, meskipun benda fisiknya sudah hilang atau musnah. Namun karena masih tersimpan dokumen yang lengkap, misalnya dalam bentuk deskripsi, gambar, foto, atau film maka data tentang cagar Budaya tersebut masih dapat dimanfaatkan (Sutopo 2014)

Oleh karena pentingnya keberadaan sebuah dokumen, salah satu bangunan cagar budaya di Indonesia yang membutuhkan perhatian dan perlindungan adalah Candi Jawi yang terletak di kaki G. Welirang, tepatnya di Desa Candi Wates, Kecamatan Prigen, Kabupaten Pasuruan, sekitar 31 km dari kota Pasuruan, diyakini dulunya adalah sebuah tempat pemujaan. Bangunan candi dapat dikatakan masih utuh karena telah berkali-kali mengalami pemugaran. Candi Jawi dipugar untuk kedua kalinya tahun 1938-1941 dari kondisinya yang sudah runtuh. Akan tetapi, pemugaran tidak dapat dituntaskan karena banyak batu yang hilang dan baru disempurnakan pada tahun 1975-1980 (Perpusnas 2015)

Mengingat Candi Jawi pernah runtuh dan pernah dilakukan pemugaran, maka perlu dibuatkan rekonstruksi model tiga dimensi Candi Jawi. Kegiatan rekonstruksi model

Candi dimaksudkan selain untuk dokumentasi, juga agar memperoleh manfaat dalam hal pendidikan dan pariwisata (Hidayat dkk 2016).

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengukuran terhadap Candi Jawi menggunakan dua wahana yang berbeda, yaitu *quadcopter* DJI Phantom 3 Advanced dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* untuk mengetahui perbandingan hasil model 3D kedua data ditinjau dari beberapa hal yang menjadi perbandingan sebagai informasi preferensi alat yang sebaiknya digunakan sesuai kebutuhan pemodelan.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana cara membuat model 3 dimensi Candi Jawi menggunakan data foto udara dan data *point cloud Terrestrial Laser Scanner* ?
- b. Bagaimana hasil dari kedua model tersebut berdasarkan waktu, biaya, dan format data ?

1.3 Batasan Masalah

- a. Lokasi penelitian dilakukan di Candi Jawi, yang terletak di Pasuruan, Jawa Timur
- b. Wahana yang digunakan adalah DJI Phantom 3 Advanced dan FARO Focus 3D *Laser Scanner*
- c. Metode yang digunakan adalah *Structure from Motion* dan Fotogrametri Jarak Dekat
- d. Jumlah Titik Kontrol Tanah adalah sebanyak 4 buah titik diukur menggunakan GPS Geodetik metode statik

1.4 Tujuan Penelitian

- a. Melakukan akuisisi data menggunakan *Quadcopter* dan *TLS* untuk membuat model tiga dimensi Candi Jawi
- b. Menganalisis perbandingan geometri model tiga dimensi Candi Jawi berdasarkan aturan *CityGML*
- c. Menganalisis hasil berdasarkan geometri, LoD, waktu, biaya, serta format data

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah diharapkan mendapatkan model tiga dimensi Candi Jawi dalam rangka implementasi pasal 1 ayat 1 UU Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya sebagai wujud perlindungan, kepedulian, perawatan, dan media *recovery* yang dapat dijadikan acuan dalam perbaikan candi jika sewaktu-waktu terjadi kerusakan, serta sebagai media edukasi dan pariwisata. Selain itu, penelitian ini memberikan informasi tentang preferensi alat yang sebaiknya digunakan tergantung kebutuhan pemodelan yang diinginkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

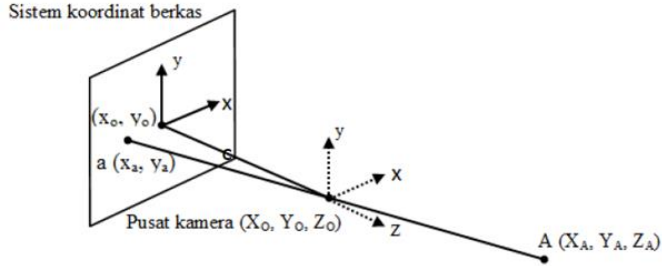
2.1 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi tentang suatu objek serta keadaan di sekitarnya melalui suatu proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambar foto dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam. Berdasarkan definisi tersebut, maka pekerjaan fotogrametri dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a) Fotogrametri metrik: suatu pengukuran yang sangat teliti dengan hitungan untuk menentukan ukuran dan bentuk suatu objek
- b) Fotogrametri interpretasi: kegiatan pengenalan dan identifikasi suatu objek

Fotogrametri metrik digunakan untuk persiapan pembuatan peta, baik peta planimetris maupun peta topografi dari foto. Sedangkan Fotogrametri interpretasi adalah kegiatan yang mempelajari bayangan foto secara sistematis untuk tujuan identifikasi atau penafsiran objek. Biasanya foto yang digunakan adalah foto udara yaitu suatu foto yang pemotretannya dilakukan dari pesawat udara. Akan tetapi foto yang pemotretannya dilakukan di atas permukaan tanahpun dapat digunakan (foto terestris) (Wolf 1983).

Istilah fotogrametri jarak dekat diperkenalkan sebagai suatu teknik fotogrametri dengan jarak antar kamera dan obyek kurang dari 100 m. Kondisi dasar konsep fotogrametri adalah kondisi kesegarisan yaitu ketika titik eksposur, titik objek, dan titik pada gambar terletak pada satu garis lurus dalam ruang tiga dimensi (Atkinson 1996)



Gambar 2. 1. Konsep kolinearitas (Atkinson, 1996)

Dengan X_0, Y_0, Z_0 merupakan titik pusat kamera, dan x_a, y_a, c merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat berkas. X_A, Y_A, Z_A merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah dengan persamaan kolinearitas berikut ini:

$$\begin{aligned} \frac{X_a - X_0}{c} &= \frac{(m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Z_A - Z_L) + m_{13}(Y_Z - Y_L))}{(m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Z_A - Z_L) + m_{33}(Y_Z - Y_L))} \\ \frac{Y_a - Y_0}{c} &= \frac{(m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Z_A - Z_L) + m_{23}(Y_Z - Y_L))}{(m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Z_A - Z_L) + m_{33}(Y_Z - Y_L))} \\ &\dots (1) \end{aligned}$$

Keterangan:

X_a, Y_a : Koordinat titik A di foto

X_0, Y_0 : Koordinat titik utama

X_A, Y_A, Z_A : Koordinat titik A di permukaan Bumi

X_L, Y_L, Z_L : Koordinat pusat pemotretan

c : Panjang fokus kamera

m : Elemen matriks rotasi

Matriks m adalah tersusun sebagai berikut:

$$R = R_\omega R_\phi R_\kappa =$$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & \sin \omega & -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ -\cos \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix}$$

R_{κ} merupakan rotasi terhadap sumbu z, R_{ω} adalah rotasi terhadap sumbu x, sedangkan R_{φ} adalah rotasi terhadap sumbu y. rumus di atas membutuhkan nilai-nilai yang didapat dari proses reseksi spasial.

2.2 Kamera Non-Metrik

Kamera non-metrik sejatinya tidak diperuntukkan keperluan fotogrametri dikarenakan kualitas geometriknya yang kurang. Kamera non-metrik dirancang untuk keperluan pemula hingga profesional dengan ukuran foto yang dihasilkan lebih kecil daripada foto metrik dan lebih mengutamakan kualitas gambar atau visual dibandingkan dengan geometrik. Kamera non metrik biasa dipakai untuk keperluan pengambilan foto secara umum (Fryer 1985 dalam Ulinuha 2016). Walaupun tidak untuk keperluan fotogrametri, kamera non-metrik memiliki beberapa keuntungan yaitu:

- a. Harga lebih murah daripada kamera metrik
- b. Ukuran dimensi dan berat lebih ringan dan bisa digunakan dengan tangan
- c. Lensa dapat diganti dan dapat fokus untuk semua jarak objek
- d. Dapat menggunakan roll film atau digital yang dapat menghemat biaya produksi hasil foto

2.3 Kalibrasi kamera

Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter distorsi (distorsi radial dan distorsi tangensial), panjang titik utama (c), titik pusat fidusial foto (X_o , Y_o), parameter rotasi (ω , ϕ , κ). Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan ketelitian pengukuran yang tidak baik,

namun tidak mempengaruhi kualitas ketajaman citra yang dihasilkan (Fraser 2015).

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu (Harintaka 2009):

1. *Laboratory calibration*

Merupakan kalibrasi yang dilakukan di laboratorium dan terpisah dengan pemotretan obyek. Metode ini cocok digunakan untuk kalibrasi kamera metrik. Metode ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *optical laboratory calibration* dan *test range calibration*.

2. *In field calibration*

Parameter kalibrasi kamera dihitung menggunakan prinsip *bundle adjustment*, *plumb line*, atau *Direct Linear transform (DLT)*

3. *Self calibration*

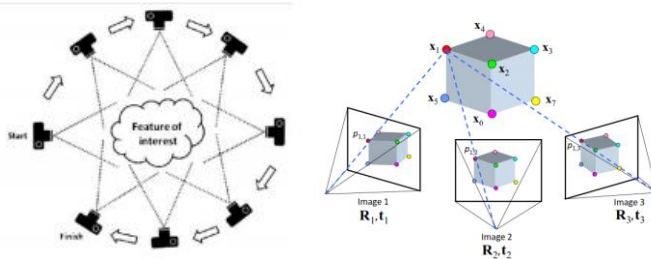
Kalibrasi pada saat pemotretan dikenal dengan *self calibration*, yakni mengkalibrasi kamera sekaligus pada obyek amat dan data diambil bersamaan dengan data observasi. Pengukuran titik-titik target pada obyek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik obyek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

2.4 Structure From Motion (SFM)

Berdasarkan jumlah gambar dalam proses rekonstruksi model, metode yang digunakan dibagi menjadi satu gambar, gambar stereo, banyak gambar. Rekonstruksi dari gambar dibagi menjadi secara otomatis dan semi-otomatis (Tian 2011 dalam Ulinuha 2016). Pendekatan secara otomatis adalah Teknik SFM.

SFM adalah teknik rekonstruksi 3D dari data foto dengan algoritma Scale Invariant Feature Transform (SIFT) (Westoby 2012 dalam Ulinuha 2016). SFM membutuhkan *input* algoritma ekstraksi fitur berupa foto yang saling overlap untuk kemudian dapat direkonstruksi model tiga dimensinya,

namun SFM secara mendasar berbeda dari fotogrametri konvensional yaitu pada posisi dan orientasi kamera yang tidak perlu mengkhhususkan jaringan target posisi tiga dimensi. Pada proses SFM digunakan data redundan dan prosedur iteratif bundle adjustment, berdasarkan fitur yang terekstrak dari gambar yang saling bertampalan (*overlap*) (Snavely 2008).



Gambar 2. 2. Posisi pengambilan gambar teknik SFM

Structure From Motion (kiri) dan sudut pandang terhadap objek secara keruangan ketika pengambilan gambar (kanan) (Westoby 2012 dan Snavely 2010)

2.5 Digital Image Matching

Feature detection dan *image matching* merupakan dua hal penting dalam fotogrametri. Keduanya semakin berkembang pengaplikasiannya. Dari fotogrametri yang sederhana seperti mengidentifikasi *feature* yang dibentuk oleh *software 3D modelling*, ada beberapa aplikasi yang menggunakan *image matching* sebagai hal penting. Hal ini turut mendasari semakin tahun kebutuhan fotogrametri dan *computer vision* termasuk *feature detection*, *image matching*, dan pemodelan 3D. *Feature detection* merupakan langkah awal sebelum *image matching* ketika akan merepresentasikan model 3D (Guerrero 2011).

Metode untuk *image matching* tergantung pada gambar yang akan dipasangkan dan variasi dari gambar atau dipengaruhi empat parameter yakni skala, orientasi, objek

yang akan dipasangkan, kecerahan. Beberapa algoritma *image matching* dapat diterima dengan baik pada beberapa gambar yang memiliki kondisi yang sama sesuai parameter yang ada. Tetapi pada dasarnya belum ada algoritma yang benar-benar mentolerir parameter-parameter tersebut (Snaveely 2010)

2.6 3D Model

Penilaian hasil model 3 dimensi suatu objek dapat dinilai dari ukuran dan segi bentuknya. Untuk ukuran, pengujian dilakukan dengan uji statistik. Sedangkan dari segi bentuk, ditentukan dengan kategori pada *Level of Detail* (LOD).

2.2.1 *Level of Detail*

Menurut Biljecki (2013), dalam geomatika dan kartografi, skala peta sangat umum diterapkan, dan Thompson (2009) memberikan gambaran yang baik tentang skala yakni skala peta adalah rasio jarak di atas kertas dengan jarak dari obyek dunia nyata yang dipetakan. Istilah "skala kecil" digunakan untuk kasus-kasus di mana sejumlah kecil dari kertas diperlukan untuk mewakili suatu wilayah. Skala besar membutuhkan lembar kertas yang lebih besar.

Konsep *Level of Detail* terkait erat dengan konsep skala peta tersebut, dan LoD dipelopori oleh Clark (1976) yang menyebutkan bahwa struktur data hierarki jika dimana seseorang akan mendeskripsikan sebuah objek secara rinci maka ia akan menyusuri objek tersebut lebih dalam. Deskripsi sebuah objek yang kurang rinci dikarenakan adanya material yang mendefinisikan sebuah objek secara lebih luas. Maka semakin rinci deskripsi sebuah objek, mengandung semakin banyak material atau geometri didalamnya. Berikut merupakan 5 tingkatan *level of detail* :

- LoD 0

Untuk setiap bangunan atau gedung bagian tapak atau atap garis diwakili oleh poligon

horizontal dengan tinggi mutlak dan konstan yang didefinisikan dengan baik.

- LoD1

Untuk setiap bangunan atau bagian bangunan kulit luar yang umum diwakili oleh tepat satu prisma ekstrusi padat. Tanah, 19 lantai dan atap permukaan harus horizontal, permukaan batas lateral yang harus vertikal.

- LoD2

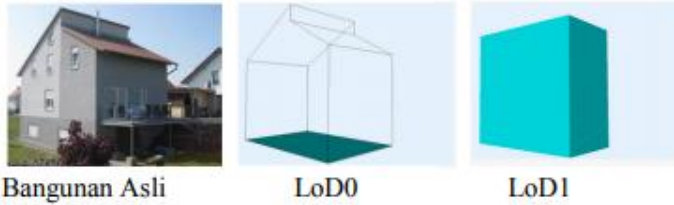
Untuk setiap bangunan atau bagian bangunan terluar geometris sederhana diwakili oleh permukaan luar horizontal atau vertikal dan bentuk atap disederhanakan. Semua jenis permukaan dan elemen bangunan tambahan dapat direpresentasikan sebagai objek semantik.

- LoD3

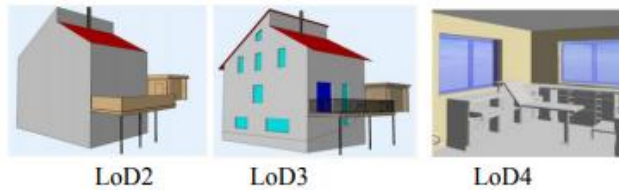
Untuk setiap bangunan atau gedung bagian kulit terluar geometris rinci diwakili oleh permukaan luar rinci dan bentuk atap rinci. Semua jenis permukaan dan elemen bangunan tambahan dapat lebih rinci direpresentasikan sebagai objek semantik. Dalam hal LoD2 pintu dan jendela dapat dimodelkan sebagai objek tematik datar.

- LoD4

Untuk setiap bangunan atau bagian bangunan terluar geometris rinci dan interior diwakili oleh permukaan luar dan dalam rinci dan bentuk atap rinci. Semua jenis permukaan dan elemen bangunan bergerak bergerak dan non tambahan dapat diwakili dengan lebih rinci sebagai objek semantik.



Gambar 2. 3. Level of Detail
(Biljecki, 2013)



Gambar 2. 4. Level of Detail
(Biljecki, 2013)

Menurut Biljecki (2013), deskripsi persyaratan akurasi dari *Level of Detail* adalah sebagai berikut (halaman selanjutnya),

Tabel 2. 1.Tabel Persyaratan Akurasi LOD

Aspek	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Skala model	Kota, regional	Distrik dalam kota	Model arsitektur (exterior), landmark	Model arsitektur (interior)
Kelas akurasi	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi posisi dan tinggi	5m	2m	0,5 m	0,2 m
Instalasi bangunan	-	-	Efek visual exterior representatif	Obyek dalam bentuk ukuran sebenarnya
Generalisasi	Ukuran obyek >6x6 m	Ukuran obyek >4x4 m	Obyek sebagai fitur nyata >2x2 m	Elemen konstruktif ditampilkan
Struktur	Datar	Tipe dan orientasi atap	Sesuai bentuk obyek sesungguhnya	Sesuai bentuk obyek sesungguhnya

(Sumber : Fen & Meng 2009)

2.7 Kualitas Pemodelan Obyek 3 Dimensi

Kualitas hasil akhir suatu model akhir 3D obyek dapat diuji dari segi kuantitas dan kualitasnya. Untuk segi kuantitas dinyatakan dalam besaran *Root Mean Square Error* (RMSe) dan standar deviasi, sementara dari segi kualitas dapat dinyatakan dalam skala *Level of Detail* (LoD).

1. RMSe dan Standar Deviasi

Root Mean Square (RMSe) adalah ukuran perbedaan antara nilai besaran yang diprediksi dengan nilai yang diamati sebenarnya. RMSe digunakan untuk menyatakan

akurasi suatu prediksi besaran dan didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$RMSe = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}}$$

Keterangan:

$x_{1,i}$: Nilai prediksi ke-i

$x_{2,i}$: Nilai pengamatan ke-i

n : jumlah pengamatan

Sedangkan standar deviasi lebih menunjukkan kecenderungan penyebaran nilai suatu prediksi terhadap nilai prediksi rata-ratanya sendiri. Standar deviasi digunakan dalam menyatakan presisi dan didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

Keterangan:

\bar{x} : nilai rata-rata prediksi

x_i : nilai prediksi ke-i

2.8 Terrestrial Laser Scanning

Secara umum diketahui sebagai teknik pengukuran menggunakan prinsip lidar (*light detection and ranging*), yang telah digunakan untuk pemetaan topografi sejak pertengahan 1990 (Kraus 2007 dalam Chandler dkk 2016). Lidar menggunakan sebuah teknik pengukuran berbasis *laser* untuk menentukan titik koordinat 3D pada sebuah permukaan objek relatif terhadap instrumen. Untuk ilmu bumi dan pemetaan topografi, prinsip “*time-of flight*” paling umum digunakan, karena memungkinkan untuk rentang yang lebih panjang daripada *phase-based* (tangkapannya sangat cepat dan awan padat, namun jangkauannya terbatas) dan triangulasi (akurasi dan kepadatan tinggi, tapi sangat pendek kisaran

<2m) metode. Implementasi *time-of-flight* pada instrumen TLS menggunakan pulsa sinar *laser* dan pengukuran jarak elektromagnetik reflektorles (EDM) untuk menentukan jarak dengan objek, sedangkan mekanisme pemindaian memberikan sudut defleksi dengan menggunakan sistem cermin dan / atau kepala berputar. Vektor yang diketahui ini memungkinkan koordinat 3D individu ditentukan dan bila digabungkan, mengaktifkan sebuah *dense cloud* padat yang bisa ditangkap dengan cepat dalam sistem koordinat 3D yang acak tapi kecil (Buckley dkk 2008).

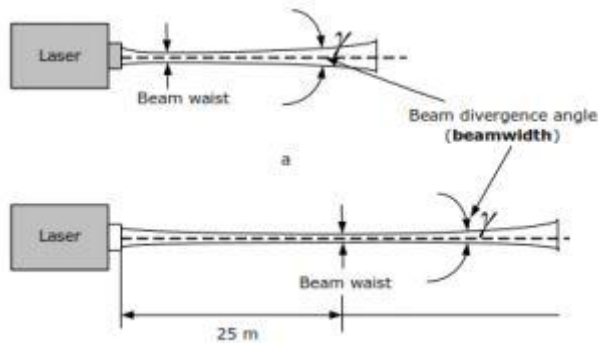
Puluhan hingga ratusan ribu poin (*point clouds*) dikumpulkan per detik dalam arus waktu instrumen. Beberapa pemindaian dikumpulkan dari berbagai posisi untuk mendapatkan cakupan penuh dari sebuah objek atau bentuk lahan. Point clouds yang didapatkan dalam suatu pengukuran menggunakan TLS mempunyai koordinat tiga dimensi terhadap tempat berdiri alat. Biasanya point clouds digunakan sebagai bahan pembuatan suatu model. Pada proses pengolahan *laser scanner* dapat dilakukan tahapan *filtering* yaitu menghapus pengukuran yang tidak diinginkan, atau untuk membuat suatu data pemodelan (Chandler dan Buckley 2016).

TLS memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan teknik survei tradisional (Reshetyuk 2009) yaitu:

1. Menangkap geometri suatu objek dalam 3D secara langsung, cepat dan detil;
2. Dapat memangkas biaya dan menyelesaikan pekerjaan jauh lebih cepat
3. Dapat digunakan pada daerah survei atau objek yang sulit dijangkau dan berbahaya dimana teknik survei tradisional sangat sulit dilakukan
4. Tidak memerlukan cahaya saat akuisisi data
5. Pemindaian secara lengkap dan komprehensif
6. Data dapat digunakan untuk saat ini dan saat mendatang

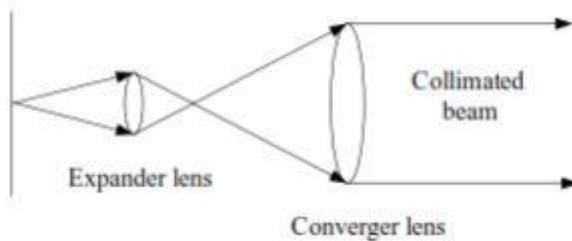
2.8 Sinar Laser pada TLS

TLS menggunakan sinar laser yang dipancarkannya untuk mendapatkan *point clouds* dari permukaan suatu objek. Sinar laser yang dipancarkannya akan menyebar dan menjauh dari alat. Tepatnya sinar yang dipancarkan akan membentuk diameter minimum yang disebut *beam waist* yang biasanya terletak di dekat laser, namun tidak selalu berada di dekat laser seperti gambar 2.5. *Beam waist* ini memiliki diameter pancaran sinyal yang berbanding terbalik dengan *beam divergence*, *beam waist* menghasilkan diameter yang kecil sedangkan *beam divergence* lebih besar. (Reshetyuk 2009)



Gambar 2. 5. Ilustrasi *beam waist* dan *beam divergence*

Beam divergence pada umumnya akan meningkat diameternya pada saat melalui *beam expander*, yaitu susunan lensa khusus. Lensa ini pada dasarnya adalah teleskop terbalik yang terdiri dari lensa yang panjang fokusnya pendek (*expander lens*) kemudian diikuti lensa yang panjang fokusnya panjang (*converger lens*) (Reshetyuk 2009).



Gambar 2. 6. *Laser Beam Expander*

Diameter dari sinar *laser* yang dihasilkan ketika melakukan pemindaian pada permukaan obyek dapat diketahui dengan persamaan berikut ini (Baltsavias 1999 dalam Fariqan 2018):

$$D_f = 2R \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \approx R\gamma$$

Keterangan:

D_f =diameter; R =Jarak; γ =sudut *beam divergence*

Pada TLS, beam divergence (γ) pada umumnya memiliki nilai dibawah 1 mrad (0.001 rad) meskipun beberapa scanner memiliki beam divergence yang berbeda (Reshetyuk 2009).

2.9 Prinsip Pengukuran TLS

Hasil dari suatu pengukuran dengan menggunakan TLS adalah berupa titik-titik yang memiliki koordinat 3D. *point clouds* merupakan struktur data yang digunakan untuk mempresentasikan kumpulan titik multidimensial yang biasanya mempresentasikan data tiga dimensi. Dalam *3D point clouds*, suatu titik biasanya merepresentasikan koordinat geometri X, Y dan Z pada permukaan objek.

Sistem pengukuran *laser scanner* dari beberapa tempat berdiri alat biasanya menggunakan metode multiple scan atau melakukan scanning berkali-kali pada posisi yang berbeda-beda. Banyaknya scanning yang dilakukan tergantung pada kebutuhan ketelitian detail objek yang diinginkan, semakin banyak scanning yang dilakukan pada suatu objek akan semakin banyak detail yang dihasilkan dan semakin teliti model objek yang terbentuk. Untuk memperoleh koordinat point clouds, TLS mempunyai suatu sistem pengukuran yang terdapat didalamnya, yaitu sistem pengukuran jarak dan sistem pengukuran sudut.

1. Sistem pengukuran jarak

TLS adalah alat yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik *laser* untuk melakukan pengukuran jarak. Dalam praktiknya, TLS dibagi menjadi dua berdasarkan tipe pengukuran jaraknya, yaitu *pulse based* dan *phase based*. Prinsip pengukuran TLS berbasis pulsa yaitu berdasarkan waktu tempuh gelombang *laser* ketika dipancarkan hingga diterima kembali oleh penerima pulsa *laser*. *Laser rangefinder* merupakan suatu komponen TLS yang paling berperan dalam melakukan pengukuran jarak.

Laser rangefinder hanya mengukur jarak pada arah pandangnya. Dengan mengubah arah pandang *laser rangefinder* didapat jarak suatu titik pada arah yang berbeda pula. Perubahan arah pandang dapat dilakukan dengan memutar *laser rangefinder* maupun dengan sistem putaran cermin. Sistem putaran cermin lebih banyak digunakan karena lebih ringan dan dapat diputar lebih cepat dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Alat ini terdiri dari beberapa komponen yaitu transmitter (pemancar pulsa), penerima pulsa (terdiri dari detektor, penguat sinyal dan *Automatic Gain Control (AGC)*, pengukur waktu elektronik, pemancar dan penerima optis).

Mekanisme pengukuran *laser rangefinder* ini pemancar *laser* memancarkan dalam pulsa pendek yang terbagi menjadi dua bagian, satu dipancarkan ke penerima sinyal untuk mengaktifkan unit pengukur waktu elektronis satu lagi dipancarkan ke objek. Ketika *laser* yang dipancarkan menyentuh objek, *laser* tersebut akan terhamburkan dan sebagian ada yang kembali ke detektor. Di dalam detektor kekuatan pancaran pulsa akan dikonversikan menjadi arus listrik yang kemudian akan diterima dan diteruskan oleh penguat sinyal yang disebut diskriminator waktu. Saat arus listrik mencapai diskriminator waktu, hal tersebut menandakan waktu kembalinya pulsa dan akan menghentikan pengukuran waktu. Interval waktu antara pulsa dipancarkan hingga kembali digunakan untuk menghitung jarak antara alat TLS dengan objek.

Perhitungan jarak dengan TLS berbasis pulsa mengikuti pada persamaan berikut :

$$R = \frac{c \cdot t}{2}$$

Dengan:

R = Jarak antara TLS dengan objek

c = Kecepatan cahaya di udara (3×10^8 m/s)

t = Waktu tempuh *laser* ketika dipancarkan hingga diterima kembali

2. Sistem pengukuran sudut

TLS juga memiliki sistem pengukuran sudut yang dapat digunakan untuk mendapatkan koordinat objek. Sistem pengukuran sudut terdiri dari komponen angular encoders yang berfungsi untuk mengukur arah horizontal dan sudut vertikal sinar *laser* TLS ke objek.

3. Perhitungan koordinat

Untuk mendapatkan nilai koordinat objek dengan menggunakan TLS, adapun beberapa parameter yang

diukur dalam setiap objek, yaitu (a) Jarak (r), (b) Arah horizontal (φ), (c) sudut vertikal (Θ)

Selain melakukan ketiga pengukuran di atas terhadap setia objek, TLS juga melakukan pengukuran intensitas pantulan sinar *laser* dari setiap point clouds. Hunungan antara data pengamatan (r , φ , Θ) dan koordinat (x,y,z) dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

$$x_i = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \sin\varphi_j \cos\theta_j \\ r_j \sin\varphi_j \sin\theta_j \\ r_j \cos\theta_j \end{bmatrix}$$

Dengan:

r_j : Jarak hasil pengukuran waktu tempuh *laser* ke objek

φ_j : Sudut horizontal antara arah bidikan *laser* dengan sumbu x alat

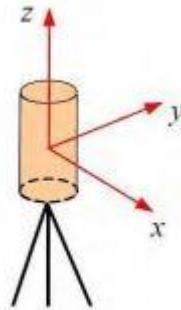
θ_j : Sudut vertikal antara bidang horizontal dengan arah bidikan *laser* ke objek

x_j, y_j, z_j : Koordinat x, y, z *point clouds* dalam sistem koordinat alat

2.10 Teknik Registrasi Data

Point cloud yg dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal yg direferensikan terhadap alat. Sistem koordinat internal tersebut bisa didefinisikan sebagai

1. Origin, didefinisikan pada scanner electro optical center.
2. Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat).
3. Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat.
4. Sumbu y, orthogonal terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan.



Gambar 2. 7. Sistem sumbu koordinat *laser scanner*

Representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, disebut dengan registrasi. Tahapan registrasi perlu dilakukan untuk menggabungkan data hasil pemindaian dari beberapa tempat berdiri alat. Agar proses registrasi bisa dilakukan, proses pemindaian harus memiliki area yang overlap antara proses pemindaian dari satu titik ke proses pemindaian titik berikutnya.

Ada beberapa metode registrasi data *point cloud* yang dapat digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan memengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih berdasarkan kondisi objek dan area di sekitar objek (Quintero 2008), yaitu:

1. *Target to target registration*

Metode registrasi ini adalah metode registrasi yang umum digunakan, yaitu target yang mempunyai reflektivitas tinggi dan dapat dikenali oleh alat sebagai target. Target tersebut digunakan sebagai titik ikat dari dua atau lebih tempat berdiri alat. Titik ikat tersebut yang menggabungkan kedua tempat berdiri alat sehingga mempunyai arah orientasi relatif yang sama.

2. *Cloud to cloud registration*

Registrasi ini menggunakan minimal tiga titik sekutu yang dimiliki dari kedua hasil scan. Konsep registrasi ini menggunakan metode *iterative closest point (ICP)*. Maksud dari konsep ini adalah mencari offset atau jarak terdekat secara berulang-ulang dari kedua titik yang terdekat antara kedua kumpulan *point clouds*. Walaupun titik minimal yang diperlukan berjumlah tiga titik, namun untuk mendapatkan ketelitian yang baik, pertampalan dari pointclouds harus di atas 60% sehingga akan menambah beban kerja pada proses pengambilan data.

3. *Transversing*

Registrasi transversing menggunakan tempat berdiri alat sebagai titik sekutu dan memerlukan satu titik referensi sebagai titik awal backsight. Keunggulan metode ini adalah lebih cepat dalam menyelesaikan survei karena waktu untuk persiapan alat dan target tidak terlalu lama. Akan tetapi metode ini biasanya memberikan ketelitian pengukuran yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya.

2.11 Georeferensi

Georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Tahap ini dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari objek ke dalam sistem koordinat eksternal. Sebagian besar proses georeferensi diubah ke sistem koordinat geosentrik berdasarkan data pengukuran benchmark GPS geodetik yang memiliki ketelitian yang baik. Ketelitian yang baik diperlukan karena ketelitian dari titik referensi akan memengaruhi ketelitian nilai koordinat dari semua titik yang dihasilkan oleh pengukuran *laser scanner* (Quintero 2008).

2.12 Aplikasi TLS

Dalam teknik perekayasa, TLS dapat digunakan dalam berbagai bidang (Paramita dkk 2012 dalam Fariqan 2018) seperti:

1. Survei pemodelan gedung dan fasilitas

2. Dokumentasi monumen bersejarah untuk pemodelan virtual, pemantauan dan penilaian kondisi kedetilan dan kerusakan monumen
3. Pemantauan deformasi kerucut sinder gunung
4. Pemodelan untuk dokumentasi tempat kejadian perkara
5. Dan dalam bidang-bidang yg lainnya.

2.13 Sumber-Sumber Kesalahan pada Pengukuran TLS

Dalam setiap pengukuran hasil yang dihasilkan pasti tidak sempurna. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor kesalahan dalam suatu pengukuran yang dapat menyebabkan kesalahan terhadap pada data pengukuran. Menurut Wolf dan (Ghilani 2006 dalam Fariqan 2018) sumber-sumber kesalahan dalam suatu pengukuran antara lain:

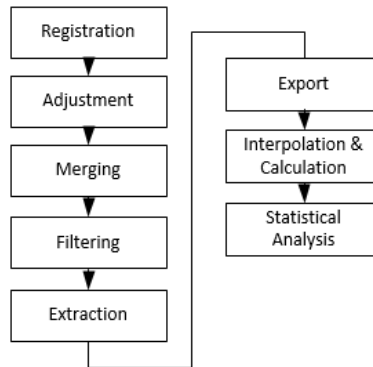
- a. Kesalahan operator
- b. Kesalahan sistematik
- c. Kesalahan acak

Menurut Staiger dan Gordon (2005) dalam Reshetyuk (2009), faktor-faktor kesalahan dalam pengukuran TLS dapat dibagi ke dalam beberapa kategori di bawah ini:

1. Kesalahan pada Instrumen
2. Kesalahan terkait objek
3. Kesalahan terkait lingkungan

2.14 Pengolahan Data TLS

Alur pengerjaan secara umum pengolahan data TLS meliputi tahap registrasi dan penggabungan seluruh *point cloud*, filtering dan ekstraksi *area of interest (AOI)*, spasial dan analisis statistik terhadap hasil pengukuran manual di lapangan. Berikut merupakan gambar diagram alir *postprocessing* data TLS,



Gambar 2. 7. Diagram alir umum pengolahan data TLS

Setelah dilakukan pengambilan data, data diimport ke dalam aplikasi pengolah data TL. Registrasi dari posisi scan dilakukan dengan sebuah metode registrasi tidak langsung. Dengan algoritma otomatis, dataset menampilkan nilai alignment error yang disebabkan oleh posisi reflektor yang tidak optimal, atau tidak ketidakstabilan alat selama proses pengukuran berlangsung. Perataan lebih jauh digunakan untuk meminimalkan kesalahan-kesalahan tersebut. Posisi dan orientasi dari masing-masing posisi alat saat merekam data dimodifikasi dalam banyak iterasi untuk mendapatkan nilai fit terbaik secara keseluruhan. Data TLS yang berupa point cloud, memiliki noise yang disebabkan oleh refleksi benda sekitarnya atau partikel kecil di udara. Oleh karenanya, proses filtering lebih jauh berdasarkan reflektan, diukur untuk setiap titik selama proses akuisisi data. Titik-titik dibawah nilai reflektan tertentu yang dianggap sebagai noise akan disingkirkan. Nilai reflektan bergantung pada jarak dari sensor ke lapangan sama halnya begitupun dengan faktor lain, nilai kritisnya sedikit berbeda untuk setiap proses pemindaian. Kemudian seluruh point cloud dari masing-

masing tanggal tergabung menjadi satu dataset dan AOI terekstrak secara manual. (Tilly dkk, 2014)

2.15 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
(2005) Husnul Hidayat, Agung Budi Cahyono	3D Reconstruction of Singosari Temple Using Terrestrial Images and Structure From Motion Algorithm	Memodelkan Candi Singosari ke dalam bentuk 3D menggunakan foto darat yang diambil menggunakan kamera digital	Model 3D mampu menampilkan fasad candi, namun pada bagian atap dan belakang tidak dapat termodelkan dengan baik karena tidak ada foto tampak atas serta adanya pengaruh <i>backlight</i> ketika pengambilan data yang menyebabkan digital image matching menjadi kurang baik. Berdasarkan analisis ketelitian diketahui

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
			bahwa penyimpangan koordinat 3D masing-masing untuk dX, dY, dan dZ adalah sebesar 0,029 meter, 0,029 meter, dan 0,047 meter yang setara dengan pergeseran 3D sejauh 0,062 meter.
(2016) Husnul Hidayat, dan A. B. Cahyono	Combined aerial and terrestrial images for complete 3D documentation of Singosari Temple based on Structure from Motion algorithm	Merupakan perpaduan foto udara dengan foto terestris untuk membentuk model 3D Candi Singosari menggunakan algoritma <i>Structure From Motion</i>	Dalam hal ketelitian koordinat 3D, nilai RMSe yang diperoleh untuk RMSE _x sebesar 0,041 meter; RMSE _y 0,031 meter; dan RMSE _z 0,049 meter. Dengan tambahan rata-rata perbedaan panjang

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
			pengukuran objek sebesar 0,071 meter.
(2017) Selfi N., dan Agung Budi Cahyono	Pemodelan 3 Dimensi Candi Wringinlawang Menggunakan Metode Structure From Motion untuk Dokumentasi Cagar Budaya	Membuat model dan menganalisis geometrik model 3D Candi Wringinlawang	Model 3D Candi Wringinlawang menghasilkan nilai RMSE paling besar pada RMSEz yaitu 0.048 meter dan tergolong pada kategori LoD 3
(2015) F. Alidoost, H. Arefi	An image based Technique for 3D Building Reconstruction Using Multi View UAV Images	Kapabilitas multi-view foto UAV diukur untuk menyediakan sebuah model 3D dari fasad bangunan komplek menggunakan sebuah alir kerja modeling yang efisien (pose estimation, point cloud	Dataset yang pertama sebanyak 80 foto diambil menggunakan kamera NEX-7 16.0 6000x4000 dengan wahana UAV. Dataset kedua sekitar 365 foto diambil menggunakan kamera Olympus PEN-

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
		generation, dan 3D model)	<p>E P2_17.0_4032x 3024 dengan wahana UAV.</p> <p>Dataset pertama reprojection bundle adjustment sebesar 0,1 pixel, serta resolusi spasialnya 0,46 cm. sedangkan untuk dataset keduanya adalah 0.025 meter dan 0.50 cm.</p> <p>Berdasarkan penilaian visual, model 3D yang digenerasi dan teksturnya terlihat cukup nyata untuk melihat detil fasad bangunan.</p>

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
(2015) Hung Ming Cheng, Wun Bin Yang, Ya Ning Yen	BIM applied in historical building documentation and refurbishing	Adaptasi pengolahan data dan pengenalan geometris yang memanfaatkan data point cloud. Menyajikan sebuah desain alur kerja untuk integrasi pengembangan baru pada bidang ini, yaitu Historic Building Information Modeling.	Memiliki akses ke sebuah as bangunan bersejarah dari sebuah bangunan yang sudah ada dapat meningkatkan rencana proyek, dan menambah produktivitas, profitabilitas, dan ketelitian sebuah industri konstruksi. Metode pemodelan bangun yang sudah ada sangat bergantung pada manusia pada tahap survei dan generalisasi 3D model dan hubungan parameter di dalamnya.

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
			<i>(pada papernya tidak memberikan hasil berupa numerik)</i>
(2017) F. Chiabrand o, M. Lo Turco, C.Santaga ti	Digital Invansions: From Point Clouds to Historical Building Object Modeling (H- BOM) of a Unesco WHL Site	Memodelkan bangunan dengan menggunakan <i>Terrestrial Laser Scanner</i> survei, dan fotogrametri SfM	Rata-rata kerapatan titik pada TLS point cloud sebesar 110.000 titik/m ² sedangkan hasil pada SfM sebesar 67.000 titik/m ² . Teknik survei untuk mendapatkan <i>3D point cloud</i> lengkap akan lebih baik menggunakan TLS karena mampu mengeneralisas i kerapatan <i>dense cloud</i> dengan ketelitian yang dapat dikontrol.

Peneliti	Judul Penelitian	Narasi	Hasil
(2014) Yang LIU, Julian Kang	Application of Photogrammetry : 3D Modeling of a Historical Building	Mengukur tingkat ketelitian 3D model dan mengidentifikasi kekurangannya, serta respon dari para pekerja kontruksi profesional terhadap model 3D dibandingkan dengan gambar CAD	Ketika panjang sebuah sesi kurang dari 150 inch atau lebih dari 400 inch, tingkat ketelitian model akan jatuh. Alasan dari ketidaktelitian ini dimungkinkan karena distorsi panorama, atau kesalahan operator ketika membuat model menggunakan panorama foto. Mayoritas pekerja menyatakan model 3D dapat menjadi sebuah media efektif untuk memulai sebuah proyek renovasi.

Dari beberapa penelitian di atas mayoritas penelitian menggunakan data foto terestrial dan data foto udara dari UAV, dengan menggunakan algoritma SfM untuk membuat model 3D dari masing-masing objek penelitiannya. Penelitian memodelkan bangunan dengan Teretrial Laser Scanner pada penelitian milik Chiabrand menyatakan bahwa teknik survei dengan data 3D *point cloud* lengkap lebih baik dengan TLS karena dapat dilakukan generalisasi *dense cloud* yang ketelitiannya dapat dikontrol. Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian dalam Tugas Akhir ini ialah data yg digunakan yaitu data foto udara dan *point cloud* dari TLS. Perbedaan dalam penelitian ini ialah (1)terdapat perbandingan ketelitian model 3D dari data foto udara *Quadcopter* dan data *point cloud* TLS yang diperoleh, (2) lokasi penelitian berbeda dari penelitian sebelumnya, dan (3) disertakan analisis biaya, waktu, dan format data. Hal yang belum dilakukan dalam penelitian ini ialah pada saat akuisisi data foto udara dengan quadcopter dilakukan instalasi *lighting on site* untuk memperoleh data foto udara dengan tingkat kecerahan yang sama.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Model objek penelitian yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah Candi Jawi yang berlokasi di koordinat geografis $7^{\circ}39'45.0''$ LS, $112^{\circ}40' 3.9''$ BT yang terletak di Gunung Welirang, tepatnya di Desa Candi Wates, Kecamatan Prigen, kabupaten Pasuruan, sekitar 31 km dari Kota Pasuruan.



Gambar 3. 1. Lokasi objek penelitian
(Sumber : Google Maps, 2018)

3.2 Data dan Peralatan

3.1.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Foto berbagai sisi Candi Jawi sebagai data pemodelan tiga dimensi
- b. Data ukuran fisik Candi Jawi berupa:
 - Koordinat (x, y, z) titik kontrol tanah hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik metode statik sebagai acuan *georeference*
 - Koordinat (x, y, z) titik kontrol uji pada fisik Candi Jawi sebagai acuan ketelitian model
 - Panjang dimensi Candi Jawi pada segmen tertentu

- c. *Point cloud* Candi Jawi sebagai data pemodelan tiga dimensi

3.1.2 **Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

a. **Hardware (Perangkat Keras):**

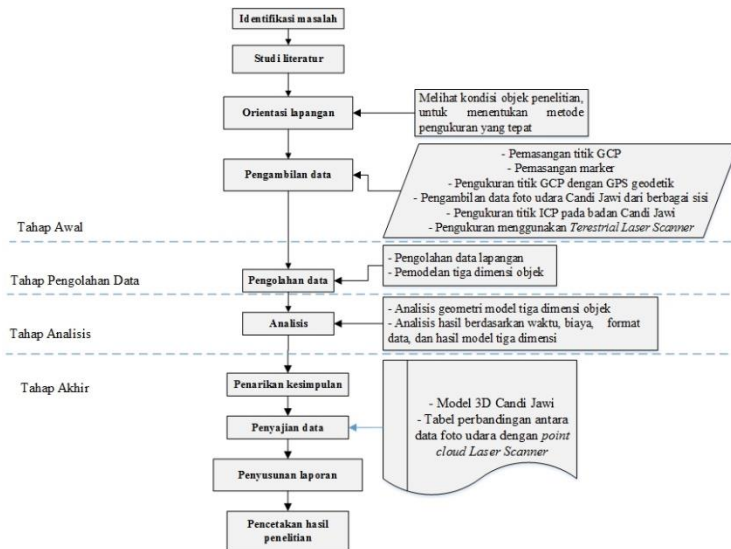
- Kamera non-metrik Sony Exmor
- *Quadcopter* DJI Phantom 3 Advanced
- Total Station Reflectorless
- Topcon Hiper Pro GPS Geodetik
- Faro Focus 3D *Laser Scanner*
- *Marker (Premark lapangan)*

b. **Software (Perangkat Lunak)**

- Sistem Operasi *Windows 7*
- Aplikasi pengolah data foto udara dan *point cloud Laser Scanner*

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:



Gambar 3. 2. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.1.3 Tahap Awal

Berikut merupakan kegiatan pada tahap awal:

1. Identifikasi Masalah

Dilakukan untuk menentukan sekaligus membatasi masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian tugas akhir. Yang menjadi perhatian utama dalam penelitian tugas akhir ini adalah geometri model tiga dimensi serta perbandingan model dari dua alat pada kriteria tertentu.

2. Studi Literatur

Dilakukan untuk mendapatkan materi yang mendukung pemahaman dan pengerjaan penelitian yang berfokus pada buku, jurnal, prosiding, internet dan lainnya.

3. Orientasi Lapangan

Dilakukan untuk mengetahui kondisi medan di lapangan untuk menentukan metode pengukuran tepat guna

4. Pengambilan data

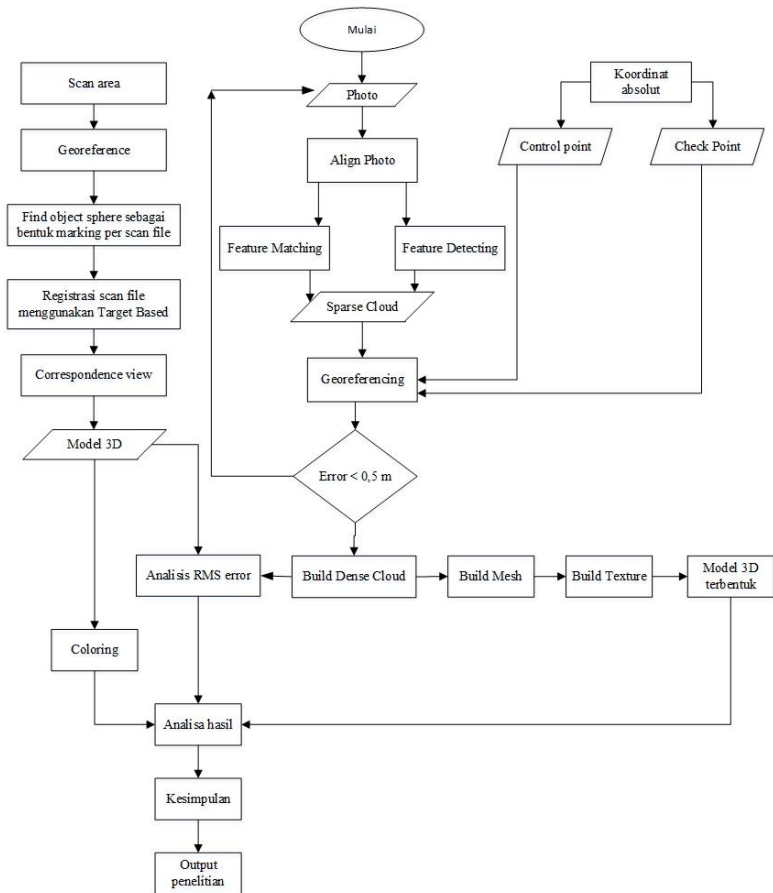
Langkah ini merupakan kegiatan dalam mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian tugas akhir.

Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

- a. Foto objek Candi Jawi
Diperoleh dengan memotret objek dari berbagai sisi menggunakan wahana *quadcopter*
- b. Pengamatan titik kontrol tanah (GCP)
Diletakkan menyebar dengan distribusi yang merata disekitar objek
- c. Pengamatan titik cek (ICP)
Diletakkan menyebar pada bagian siku badan Candi Jawi untuk keperluan identifikasi dan memeriksa ketelitian objek. Titik-titik ini diperoleh dengan pengikatan kemuka
- d. Pengukuran panjang segmen
Dilakukan dengan perhitungan jarak antar koordinat
- e. Pengukuran objek Candi Jawi dengan *Laser Scanner*
Dilakukan dengan mendirikan alat secara berulang pada titik kontrol tanah agar dapat memperoleh *point cloud* Candi Jawi dari berbagai sisi

3.1.4 Tahap Pengolahan Data

Berikut merupakan diagram alir pengolahan data:



Gambar 3. 3. Diagram Alir Pengolahan Data

Dalam pengolahan data dilakukan tahapan berikut,

1. Foto Candi Jawi berbagai sisi yang sudah diambil menggunakan foto udara, diseleksi antara yang memenuhi syarat *sidelap* dan *overlap* yang sesuai.

2. Hasil foto yang sudah terseleksi kemudian di *align*, yaitu disejajarkan berdasarkan posisi kamera ketika pengambilan data di lapangan
3. Dengan *feature detecting* dan *feature matching*, foto yang berada pada posisi sejajar akan ditampilkan antar foto terhadap foto lain untuk membentuk mosaik ortofoto
4. Selanjutnya adalah melakukan proses registrasi foto sesuai dengan koordinat lokasi yang didapatkan dari pengukuran lapangan menggunakan GPS Geodetik
5. Berdasarkan tabel *Level of Detail (LoD)* oleh (Biljecki 2013), agar model dapat memenuhi syarat kategori LoD 3 dengan syarat hasil perhitungan RMSe model kurang dari 0,5 meter, maka dapat diterima dan berlanjut ke tahap selanjutnya
6. Pembentukan *dense cloud*, dari titik-titik koordinat foto udara
7. *Build mesh*, membangun interpolasi titik-titik *wireframe* dari *point cloud*
8. *Build texture*, membentuk objek yang diteliti agar bisa memiliki tekstur permukaan seperti aslinya
9. Model 3D terbentuk, dapat berupa model dengan tingkat pemodelan level rendah, medium, atau tinggi yang berpengaruh pada visualisasi model 3Dnya.
10. *Scan area*, pada tahapan ini hasil *scanning* Candi setiap kali berdiri alat ditampilkan pada aplikasi pengolahnya
11. Memasukkan nilai koordinat titik pada salah satu tempat berdiri alat. Koordinat yang dimasukkan merupakan koordinat hasil pengukuran lapangan yang diperoleh dari GPS Geodetik
12. Melakukan pendeteksian *object sphere* (benda bulat yang diberi kaki sehingga dapat berdiri, berperan sebagai *premark* dalam pengukuran *laser scanner*) pada setiap *scan file* Jawi001 sampai Jawi006

13. Registrasi antar file scan Jawi001 sampai jawi006 dengan metode *Target Based* (pertemuan masing-masing *sphere* yang terbaca pada *scan file*)
14. *Corresponden view*, menampilkan hasil registrasi file scan secara keseluruhan yang membentuk model 3D Candi Jawi dalam bentuk Point Cloud
15. Selanjutnya *point cloud* dilakukan proses *coloring*, yaitu pemberian warna pada objek sesuai dengan warna aslinya
16. Kemudian dilakukan analisis hasil antara wahana *Laser Scanner* dan Drone dari beberapa kategori yaitu (a) nilai RMSe, (b) biaya yang dikeluarkan, (c) waktu yang dibutuhkan, (d) format data luaran yang dihasilkan.
17. Penarikan kesimpulan.
18. *Output* penelitian, hasil dari penelitian ini adalah terciptanya suatu model 3D Candi Jawi yang dipublikasikan dan dapat diakses oleh orang banyak melalui *web browser*, serta tercetaknya model 3D Candi Jawi pada media kertas dengan menampilkan fasad candi tampak atas, bawah, kanan, kiri, dan diberikan ke pihak pengurus Candi Jawi.

3.1.5 Tahap Analisis

1. Analisis geometri model
Menghitung nilai RMSe model tiga dimensi Candi Jawi dari data foto *quadcopter* dan data *point clouds* TLS
2. Analisis berdasarkan waktu
Melakukan perhitungan estimasi waktu yang dibutuhkan masing-masing alat dalam membuat model tiga dimensi meliputi tahap akuisisi dan pengolahan data
3. Analisis berdasarkan biaya
Mengkalkulasi estimasi anggaran dana yang dibutuhkan untuk masing-masing alat dalam proses pembuatan model tiga dimensi Candi Jawi
4. Analisis berdasarkan format data

Mengidentifikasi format data yang dihasilkan dari data foto udara *quadcopter* dan data *point cloud TLS*

3.1.6 Tahap Akhir

1. Penarikan kesimpulan

Berdasarkan data, hasil dan analisis yang dilakukan maka akan diperoleh kesimpulan yang meliputi (1) nilai RMSe masing-masing model, (2) total waktu yang diperlukan masing-masing alat untuk pemodelan, (3) estimasi total biaya yang diperlukan, (4) format data model

2. Penyajian data

Penyajian hasil penelitian tugas akhir adalah (1) model tiga dimensi dari data foto udara *quadcopter*, (2) model tiga dimensi dari *point cloud TLS*

3. Pembuatan laporan

Materi yang dikumpulkan mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, hasil pengolahan data sampai dengan analisis dan penarikan kesimpulan dituliskan dalam laporan.

4. Pencetakan hasil penelitian

Model tiga dimensi Candi Jawi yang telah terbentuk secara utuh dicetak dalam media dua dimensi untuk selanjutnya diberikan kepada pihak pengurus Candi Jawi sebagai bentuk bantuan dalam bidang pengarsipan dan media edukasi kepada pengunjung situs Candi Jawi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Foto objek penelitian

Dalam penelitian ini, agar dapat membuat model tiga dimensi objek penelitian dari data foto yang diambil menggunakan wahana *quadcopter*, maka perlu dilakukan pemotretan objek penelitian sebagai *point of interest (POI)* dari berbagai sisi baik tampak depan, tampak samping, dan tampak atas. Pemotretan POI dilakukan dengan metode jalur terbang agar hasil foto yang diperoleh memiliki tingkat *overlap* yang baik. Jumlah keseluruhan foto yang diperoleh adalah sebanyak 223 foto. Foto yang diambil menggunakan *manual setting* yaitu *shutter speed* 1/1000 sec, ISO 200, aperture f/2.8, *focal length* 20mm, dan tinggi terbang bervariasi 15-25 meter dari permukaan tanah. Berikut adalah sampel foto *POI*:

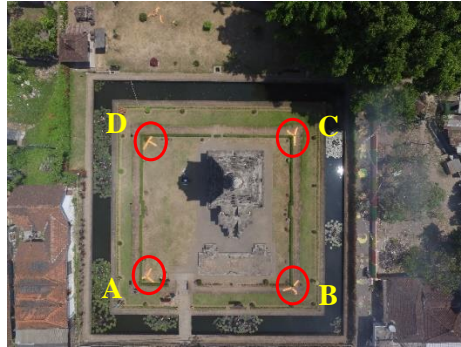


Gambar 4. 1. Sampel foto *POI*

4.2 Ground Control Point (GCP) dari Pengukuran GPS

Untuk memberikan informasi posisi pada model 3D Candi Jawi, maka dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dan pengamatan titik kontrol tanah (GCP) menggunakan GPS Geodetik pada empat buah titik kontrol tanah yang diletakkan mengelilingi *point of interest (POI)* dan GCP diposisikan berada pada lokasi yang tidak terhalang oleh objek seperti pohon atau bangunan, dan tidak banyak dilewati orang atau kendaraan agar proses pengukuran tidak terganggu.

Berikut merupakan lokasi sebaran dan hasil pengamatan titik kontrol tanah Candi Jawi:



Gambar 4. 2. Lokasi sebaran GCP

Tabel 4. 1. Tabel Koordinat GCP

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)	Std Dev Hz (m)
Base	684159,176	9152661,315	311,463	0,000
A	684195,086	9152634,199	313,229	0,001
B	684210,872	9152652,922	313,234	0,002
C	684190,389	9152668,248	313,215	0,007
D	684176,694	9152647,705	313,342	0,001

Tabel 4. 2. Jarak dan Nilai RMSe Pengamatan Titik GCP

Titik	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
Base-A	35,910	-27,116	1,776	0,001	0,002
Base-B	51,695	-8,393	1,771	0,002	0,003
Base-C	31,213	6,933	1,752	0,007	0,008
Base-D	17,518	-13,610	1,779	0,001	0,003

Dari pengamatan di atas, diperoleh nilai koordinat untuk setiap GCP, terdiri atas nilai X (Easting), Y (Northing), dan Z (Height) yang seluruhnya dalam satuan meter. Height (tinggi) yang diperoleh merupakan tinggi ortometrik, yaitu tinggi yang diukur dari elipsoid sampai dengan posisi berdirinya alat. Nilai standar deviasi untuk titik D sebesar 0,001 meter, titik C 0,007 meter, titik B 0,002 meter, dan titik A 0,001 meter. Nilai standar deviasi adalah nilai yang digunakan untuk mengetahui tingkat keseragaman/homogenitas dari suatu data yang mencerminkan presisi suatu data, dengan nilai standar deviasi yang kecil pada masing-masing titik tersebut di atas maka dapat dikatakan hasil pengukuran GCP adalah baik, sedangkan nilai RMSe horizontal GCP D adalah 0,001 meter dan RMSe vertikal 0,003 meter, RMSe horizontal dan vertikal GCP C 0,007 meter dan 0,008 meter, RMSe horizontal dan vertikal GCP B 0,002 meter dan 0,003 meter, dan terakhir RMSe horizontal dan vertikal GCP A sebesar 0,001 meter dan 0,002 meter. Baik nilai RMSe horizontal dan vertikal pada 4 buah GCP di atas memiliki nilai RMSe yang kecil, dan melalui nilai ini dapat dikatakan bahwa ketelitian pengukuran 4 buah GCP dapat dikatakan baik.

4.3 Independent Check Point (ICP) menggunakan Total Station

Selain GCP yang berguna untuk *georeferencing* posisi model 3D Candi Jawi, diperlukan variabel lain yang disebut dengan *Independent Check Point (ICP)* yang berguna sebagai nilai pembanding ketelitian model 3D yang dibuat.

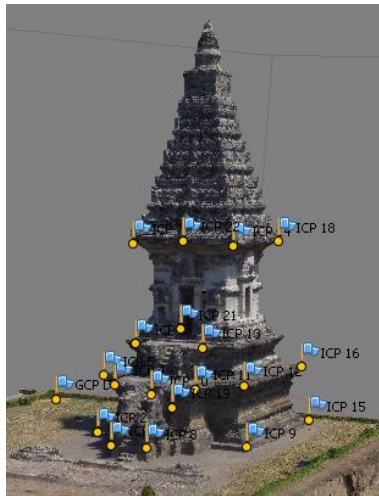
ICP diperoleh dengan membidik titik-titik tertentu yang sudah ditandai dengan *marker* (terletak pada badan POI) untuk diketahui koordinatnya dengan bantuan alat Total Station (TS). Posisi titik-titik ICP diusahakan tersebar merata pada badan POI agar data yang diperoleh bersifat representatif. Jumlah ICP yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 22 titik.

Berikut ditampilkan marker yang digunakan dalam penelitian ini, menggunakan isolasi besar (lakban) berwarna merah berbentuk huruf Y yang direkatkan pada siku-siku badan Candi Jawi, bertujuan untuk memudahkan interpretasi pengguna saat peletakan *tie point* dalam proses pengolahan data foto menjadi model 3D.



Gambar 4. 3. Tampilan marker ICP pada badan Candi Jawi

Adapun sebaran posisi ICP pada badan POI adalah sebagai berikut,



Gambar 4.3. Sebaran titik ICP pada Badan *POI*

Dan dibawah ini ditampilkan tabel nilai koordinat untuk masing-masing ICP Candi Jawi,

Tabel 4. 3.Tabel Koordinat ICP Pengukuran

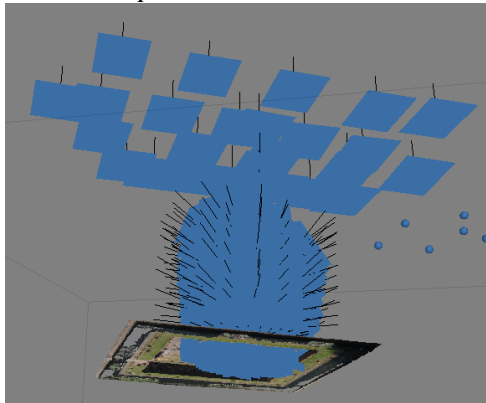
Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
ICP 1	684197,468	9152649,454	315,410
ICP 2	684191,550	9152649,257	315,033
ICP 3	684196,963	9152650,696	318,263
ICP 4	684195,460	9152649,914	318,411
ICP 5	684191,505	9152649,672	318,358
ICP 6	684193,218	9152651,311	320,372
ICP 7	684191,259	9152651,441	326,068
ICP 8	684198,757	9152651,232	315,433
ICP 9	684197,133	9152656,963	315,006
ICP 10	684197,979	9152651,582	318,178
ICP 11	684197,723	9152654,000	318,353
ICP 12	684196,731	9152656,921	318,357
ICP 13	684195,757	9152654,792	320,431
ICP 14	684195,083	9152656,634	326,029
ICP 15	684189,491	9152662,572	314,997
ICP 16	684189,550	9152662,050	318,348
ICP 17	684189,650	9152659,316	321,297
ICP 18	684189,896	9152660,437	326,079
ICP 19	684183,952	9152654,956	315,028
ICP 20	684187,608	9152658,097	319,373
ICP 21	684185,586	9152655,165	320,407
ICP 22	684186,073	9152655,238	326,076

4.4 Model 3D data foto

Sebelum pembuatan model tiga dimensi Candi Jawi, dilakukan terlebih dahulu pengambilan data foto Candi Jawi dari berbagai sisi baik tampak depan, kanan kiri, belakang, dan atas. Hasil pemotretan Candi Jawi berbagai sisi keseluruhan menghasilkan 223 foto. Foto yang terkumpul selanjutnya digunakan untuk membuat model tiga dimensi Candi Jawi. Berikut ialah tahapan dalam memodelkan Candi Jawi secara tiga dimensi,

1. Tahap *aligning photos*

Pada tahap ini software pengolah foto mencari *interest points* pada setiap foto kemudian dicocokkan dengan *interest point* pada foto lain berdasarkan *local neighborhood comparison*.



Gambar 4. 4. Proses *Alignment Photos*

2. Tahapan *Build Dense Cloud*

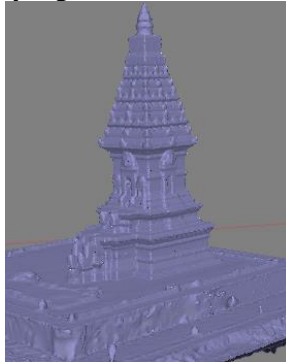
Pada tahap ini program menghitung informasi kedalaman (*depth information*) berdasarkan estimasi posisi kamera.



Gambar 4. 5. Hasil Tahap *Build Dense Cloud*

3. Tahapan Build Mesh

Tahap ini dimaksudkan untuk membentuk tipe permukaan data yang akan direkonstruksikan



Gambar 4. 6. Hasil Tahap *Build Mesh*

4. Tahap ekstraksi tekstur

Proses penentuan tekstur objek yang akan dikemas dan ditampilkan secara keseluruhan.

Gambar 4. 7. Hasil *Texturing*

Hasil geometri model 3D dari proses pengolahan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4. Geometri Model 3D Data Olahan *Quadcopter*

Hasil	Geometri
<i>Point cloud</i>	11.487 titik
<i>Build Mesh</i>	17.080.488 titik
<i>Wireframe</i>	514.603 faces, 260.087 vertices

4.5 Independent Check Point (ICP) model

Setelah melakukan pengukuran ICP di lapangan, ketika melakukan pengolahan data akan diperoleh nilai ICP model tiga dimensi. Berikut merupakan daftar koordinat titik ICP model,

Tabel 4. 5. Koordinat ICP Model

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
ICP 1	684197,468	9152649,464	315,422
ICP 2	684191,556	9152649,263	315,036
ICP 4	684195,468	9152649,907	318,404
ICP 5	684191,517	9152649,687	318,368
ICP 6	684193,227	9152651,324	320,376
ICP 7	684191,269	9152651,459	326,082

Lanjutan Tabel 4.5

ICP 8	684198,767	9152651,230	315,437
ICP 9	684197,143	9152656,946	315,007
ICP 10	684197,987	9152651,575	318,179
ICP 11	684197,719	9152654,002	318,361
ICP 12	684196,740	9152656,908	318,361
ICP 13	684195,721	9152654,776	320,362
ICP 14	684195,087	9152656,636	326,036
ICP 15	684189,501	9152662,551	314,995
ICP 16	684189,528	9152662,075	318,330
ICP 18	684189,894	9152660,445	326,094
ICP 19	684183,901	9152654,902	315,045
ICP 21	684185,569	9152655,171	320,417
ICP 22	684186,071	9152655,247	326,076

4.6 RMSe ICP – data foto

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.5 berikut ditampilkan hasil RMSe ICP model tiga dimensi Candi Jawi, Tabel 4. 6.RMSe ICP Model 3D Data Foto

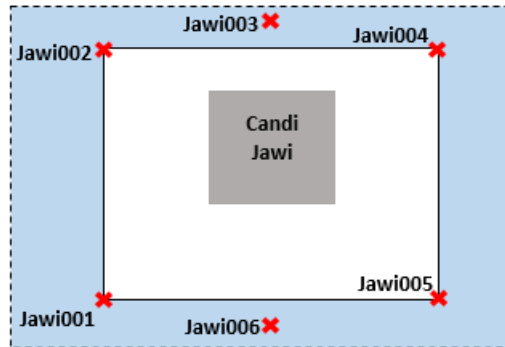
Titik	Model-TS		
	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
ICP 1	0,001	0,017	0,010
ICP 2	0,007	0,005	0,004
ICP 4	0,007	0,008	0,007
ICP 5	0,012	0,014	0,010
ICP 6	0,009	0,013	0,007
ICP 7	0,010	0,017	0,015
ICP 8	0,011	0,001	0,007
ICP 9	0,020	0,017	0,010
ICP 10	0,005	0,008	0,002
ICP 11	0,002	0,002	0,012

Titik	Model-TS		
	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
ICP 12	0,014	0,017	0,013
ICP 13	0,035	0,020	0,067
ICP 14	0,003	0,002	0,007
ICP 15	0,016	0,009	0,007
ICP 16	0,009	0,026	0,010
ICP 18	0,002	0,007	0,015
ICP 19	0,051	0,055	0,017
ICP 21	0,017	0,005	0,010
ICP 22	0,001	0,009	0,001
RMS _e	0,017	0,018	0,018

Berdasarkan nilai yang disajikan pada Tabel 4.6 di atas, maka diketahui nilai RMS_e untuk model 3D data foto adalah pada sumbu X sebesar 0.017 meter, sumbu Y sebesar 0.018 meter, dan sumbu Z sebesar 0.018 meter.

4.7 Pengukuran Candi Jawi dengan Terrestrial Laser Scanner

Pengukuran Candi Jawi menggunakan Faro Focus 3D *laser* Scanner dilakukan sebanyak 6 kali berdiri alat pada 6 titik. Setiap titik durasi pengukuran selama 15 menit dengan jangkauan ukur lebih dari 20 meter. Berikut merupakan lokasi sebaran berdiri alat TLS:



Gambar 4. 8. Sebaran Posisi Berdiri Alat *TLS*

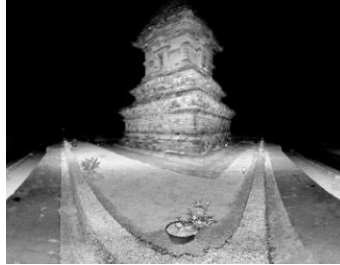
Frekuensi berdiri alat berjumlah 6 kali pada 6 titik, 4 titik diantaranya adalah pada titik GCP yang sudah diukur sebelumnya, dengan tujuan agar data yang diperoleh dapat di registrasi sehingga memiliki sistem koordinat yang sama dengan hasil pengukuran menggunakan GPS geodetik sedangkan 2 titik lainnya sebagai titik bantu agar objek penelitian dapat terekam seluruhnya untuk menghindari timbulnya area yang lubang karena tidak terkena sapuan *laser* dari *TLS*.

Dalam proses pengukurannya, *TLS* melakukan dua aksi, yaitu perekaman objek dan pemotretan. Perekaman objek untuk memperoleh kumpulan titik hasil pengukuran *POI* sedangkan pemotretan terhadap *POI* adalah untuk memperoleh informasi warna *POI* yang sedang diukur.

4.8 Model 3D data TLS

Hasil pengukuran Candi Jawi berupa kumpulan titik (*point cloud*) yang dapat menjadi satu model utuh dari sebuah objek yang diukur dengan cara menyatukan setiap hasil *scan* dari satu kali berdiri alat pada satu titik dengan hasil *scan* berdiri alat pada titik yang lain.

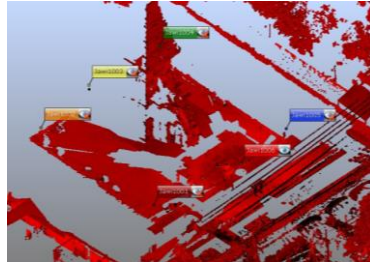
Sebelum memodelkan menjadi obyek tiga dimensi, hasil ukur tiap kali berdiri alat dicek dengan perintah *planar view*. Berikut adalah sampel *planar view* untuk titik Jawi005:



Gambar 4. 9. Tampilan Fitur *Planar View* Titik Jawi005

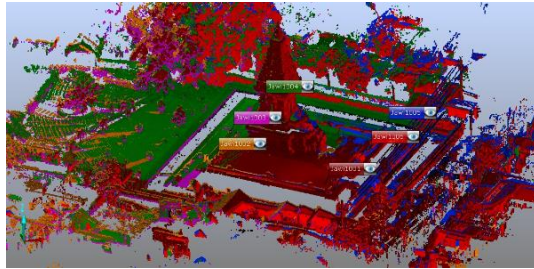
Selanjutnya dilakukan beberapa tahapan pengolahan sebagai berikut:

1. Tahap *alignment* dan *merge* seluruh hasil pemindaian setiap titik, dengan metode *target based* yaitu dengan bantuan obyek *sphere* yang dijadikan sebagai titik sekutu (*marker*). Hasil pemindaian pada satu kali berdiri alat di atas satu titik GCP atau satu titik bantu adalah sebagai berikut,

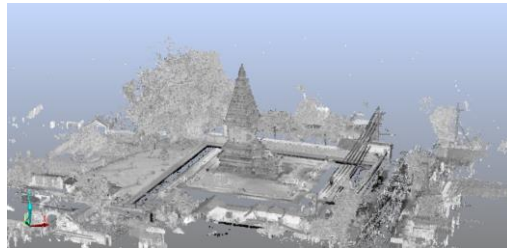


Gambar 4.8. Hasil Pemindaian Candi Jawi Titik Jawi006

Hasil pemindaian yang serupa dengan Gambar 4.8 dari 6 titik kemudian saling ditampilkan dan diberi titik ikat sebagai *georeferencing*.



Gambar 4.9. Gabungan 6 Titik Pemindaian Candi Jawi dengan Fitur *Correspondence View* sehingga menghasilkan tampilan model 3 dimensi sebagai berikut,



Gambar 4.12. Hasil Registrasi Pemindaian Semua Titik

2. Tahap *Coloring* model.

Sesuai dengan namanya, tahapan ini adalah proses mewarnai model tiga dimensi agar sesuai dengan warna model aslinya di lapangan. Berikut ini adalah hasil proses *coloring*,



Gambar 4.14. Hasil Tahap *Coloring* Model

4.9 Independent Check Point (ICP) data TLS

Point cloud hasil pengukuran TLS pada objek penelitian yaitu Candi Jawi, setelah berhasil dibentuk model tiga dimensinya maka dilakukan *picking point* atau pengambilan informasi koordinat ICPnya. Berikut adalah daftar koordinat ICP dari proses *picking point* data TLS,

Tabel 4. 7.Koordinat ICP Model 3D Hasil Olahan Data Alat TLS

Titik	TLS		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
ICP 1	684197,418	9152649,472	313,945
ICP 2	684191,513	9152649,253	313,558
ICP 4	684195,445	9152649,930	316,933
ICP 5	684191,495	9152649,702	316,887
ICP 6	684193,202	9152651,339	318,843
ICP 7	684191,274	9152651,353	324,756
ICP 8	684198,720	9152651,235	313,960
ICP 9	684197,091	9152656,948	313,523
ICP 10	684197,941	9152651,573	316,702
ICP 11	684197,612	9152653,006	316,895
ICP 12	684196,674	9152656,913	316,885
ICP 13	684195,665	9152654,759	318,873
ICP 14	684195,102	9152656,571	324,701
ICP 15	684189,425	9152662,532	313,527
ICP 16	684189,432	9152662,046	316,863
ICP 18	684189,904	9152660,385	324,614
ICP 19	684183,837	9152654,862	313,563
ICP 21	684185,512	9152655,150	318,937
ICP 22	684186,017	9152655,233	324,602

4.10 RMSe ICP data TLS

Berdasarkan Tabel 4.3 yaitu ICP pengukuran di lapangan, dan Tabel 4.8 yakni ICP model 3D *TLS*, maka diperoleh nilai RMSe dari kedua data tersebut yang ditampilkan pada tabel dibawah ini,

Tabel 4. 8.RMSe ICP model 3D TLS

Titik	TLS-TS		
	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
ICP 1	0,049	0,017	1,465
ICP 2	0,036	0,005	1,475
ICP 4	0,015	0,015	1,478
ICP 5	0,009	0,029	1,470
ICP 6	0,015	0,028	1,529
ICP 7	0,016	0,088	1,312
ICP 8	0,031	0,002	1,473
ICP 9	0,042	0,016	1,483
ICP 10	0,037	0,009	1,475
ICP 11	0,110	0,994	1,457
ICP 12	0,056	0,008	1,471
ICP 13	0,091	0,034	1,558
ICP 14	0,019	0,063	1,328
ICP 15	0,066	0,040	1,470
ICP 16	0,117	0,005	1,485
ICP 18	0,009	0,053	1,466
ICP 19	0,114	0,094	1,464
ICP 21	0,073	0,015	1,469
ICP 22	0,056	0,005	1,474
RMSe	0,062	0,231	1,464

Berdasarkan informasi tabel di atas, dalam penelitian ini nilai RMSe ICP untuk model 3D yang diperoleh dari pengolahan data adalah RMSe sumbu Easting sebesar 0.062 meter, RMSe sumbu Northing sebesar 0.231 meter, dan RMSe tinggi sebesar 1.464 meter.

4.11 Analisis geometri model 3D

Untuk menganalisis geometri model tiga dimensi Candi Jawi, nilai RMSe ICP yang diperoleh dari masing-masing hasil pengolahan digunakan sebagai variabel pembanding ketelitian model.

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui nilai RMSe pada sumbu Easting sebesar 0.017 meter, sumbu Northing sebesar 0.018 meter, dan sumbu Tinggi sebesar 0.018 meter. Sementara pada Tabel 4.6 yaitu RMSe ICP Model 3D TLS masing-masing untuk Easting, Northing, dan Tinggi adalah sebesar 0.062 meter, 0.231 meter dan 1.464 meter.

Dalam penelitian ini, yang divisualkan menjadi model 3D adalah tampilan luar dari bangunan, disebut sebagi eksterior bangunan. Menurut konsep model bangunan dalam CityGML menurut Fen & Meng 2012, untuk visualisasi model eksterior bangunan dikatakan baik jika memiliki nilai RMSe kurang dari 0,5 meter. Berdasarkan pernyataan tersebut, dan merujuk pada hasil olahan data model 3D data *quadcopter* dan data *TLS* maka nilai RMSe baik pada sumbu X, Y, dan Z untuk data *quadcopter* ialah masuk toleransi karena ketiga nilai RMSe nya kurang dari 0,5 meter. Sementara nilai RMSe model 3D data TLS nilai RMSe sumbu X, dan Y masuk batas toleransi, namun untuk RMSe Z belum mencukupi karena nilainya melebihi 0,5 meter yaitu mencapai 1.464 meter.

Hipotesa awal pada penelitian ini adalah diperkirakan nilai RMSe dari data model 3D *point cloud* TLS akan lebih kecil daripada nilai RMS model 3D data foto *quadcopter*,

namun ternyata sebaliknya. Hal ini dapat terjadi karena adanya kesalahan sistematis (kesalahan alat) yaitu alat TLS yang digunakan belum dilakukan kalibrasi alat sehingga berpengaruh pada nilai Znya. Kedua yaitu faktor manusia, karena alat TLS yang digunakan merupakan alat dengan teknologi layar sentuh (*touch screen*) dikhawatirkan telah terjadi kesalahan saat melakukan setting alat ketika proses akuisisi data.

4.12 Analisis berdasarkan waktu

Berikut ini adalah estimasi waktu yang digunakan dalam memodelkan Candi Jawi jika dikerjakan menurut 2 cara, yaitu jika memodelkan Candi Jawi menggunakan data foto wahana *quadcopter* dan data TLS diikuti proses pengukuran penunjangnya.

Tabel 4. 9. Waktu Pengerjaan Pemodelan 3D Dengan Wahana Quadcopter dan TLS

No.	Keterangan	<i>Quadcopter</i> (menit)	<i>TLS</i> (menit)
1	Perjalanan menuju lokasi, start : ITS	120	120
2	Setting alat	20	20
3	Pengamatan titik GCP	120	120
4	Pengambilan data	30	90
5	Pengukuran titik ICP	240	-
6	Pengolahan titik GCP	20	20
7	Pengolahan titik ICP	20	20
8	Pengolahan data	480	900
Total		1070	1290

Berdasarkan Tabel 4.9 di atas meliputi pengambilan dan pengolahan data, waktu yang dibutuhkan dalam membuat model tiga dimensi Candi Jawi jika dikerjakan dengan

menggunakan wahana *quadcopter* relatif lebih cepat daripada *TLS*.

4.13 Analisis berdasarkan biaya

Kisaran harga dalam sub bab analisis biaya berikut ini mengikuti harga sewa alat yang disediakan oleh Laboratorium Geodesi dan Surveying Teknik Geomatika ITS, tidak mengikuti harga sewa alat di tempat lain (kecuali alat *TLS* mengikuti harga sewa normal PT. EXSOL Trimitra selaku pemilik alat) karena analisis biaya ini bertujuan agar dapat menjadi gambaran anggaran dana pengukuran. Estimasi biaya pada tabel dibawah ini belum termasuk biaya tambahan karena menghadirkan tenaga ahli atau supervisor lapangan.

Tabel 4. 10. Estimasi Pembiayaan

No.	Keterangan	<i>Quadcopter</i>	<i>TLS</i>
1	Sewa mobil (1 unit)	Rp 750.000	Rp 750.000
2	GPS Geodetik (3 unit)	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
3	Total Station (1 unit)	Rp 250.000	-
4	Sewa unit + operator	Rp 1.000.000	Rp 5.000.000
6	<i>Pengolahan data + analisis</i>	Rp 1.500.000	Rp 25.000.000*
Total		Rp 5.000.000	Rp 32.250.000

*harga bervariasi

Dari total biaya pada Tabel 4.10, dapat dilihat bahwa pengambilan data Candi Jawi menggunakan alat *TLS* membutuhkan dana yang lebih mahal daripada wahana *quadcopter*.

4.14 Analisis berdasarkan format data

Format atau ekstensi data sangat mempengaruhi ukuran file, terdapat perbedaan ukuran file yang signifikan. Penyebabnya adalah perbedaan tipe data. Pada data foto terdiri atas piksel citra foto yang kemudian menjadi *point cloud*, *wireframe*, *vertices*, dan tekstur. Sementara pada TLS data yang terekam sejak awal sudah dalam wujud *point cloud* yang menghabiskan *space memory* lebih banyak.

Tabel 4. 11.Format data

Aspek	<i>Quadcopter</i>	<i>TLS</i>
format data	.psz, .obj	.fls, .xyz, .pts, .txt
ukuran file	13,8 Mb	18 GB

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah dibuat model 3D Candi Jawi menggunakan data foto dan *point cloud* dengan proses akuisisi data masing-masing menggunakan wahana *quadcopter* dan *TLS*.
2. Perbandingan geometri model 3D Candi Jawi menggunakan nilai RMSe ICP sebagai variabel pendekatan ketelitian model. Pada model 3D data foto bernilai RMSe masing-masing X, Y dan Z yaitu 0.017 meter, 0.018 meter, dan 0.018 meter. Sementara dengan hasil *picking point* posisi ICP data model 3D TLS nilai RMSe X, Y dan Z sebesar 0.062 meter, 0.231 meter, dan 1.464 meter. Nilai RMSe Z belum mencukupi tingkat LoD 3 yaitu syarat model bangunan dalam konsep CityGML yang diperuntukkan visualisasi eksterior bangunan yang bernilai dibawah 0,5 meter (LoD 3).
3. Dari segi biaya, waktu, dan format data pembuatan model 3D Candi Jawi dengan data foto *quadcopter* relatif lebih murah, cepat, dan hemat ruang memori dibandingkan dengan pengambilan dan pengolahan data *TLS*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya gunakan *marker* yang dimensinya lebih mengerucut agar memudahkan interpretasi pengguna ketika meletakkan *tie point* (titik ikat) dalam proses pengolahan data foto *quadcopter* menjadi model 3D. Marker yang dimaksud yaitu berupa *chest board* dengan 4 kotak bujur sangkar.

2. Karena resolusi dari foto *quadcopter* tidak sebaik kamera digital maka jika melakukan pengambilan data dengan *quadcopter*, alangkah baiknya jika pengambilan data dilakukan dengan terbang dekat di sekitar *POI* agar diperoleh hasil foto yang lebih tajam dan jelas.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan alat *TLS* yang dipastikan sudah dilakukan kalibrasi alat sebelum digunakan untuk akuisisi data lapangan, dibuktikan dengan adanya surat kalibrasi alat sehingga data yang diperoleh terjamin keakuratannya karena data lapangan yang diperoleh sangat berpengaruh terhadap hasil akhir olahan dengan tujuan agar diperoleh hasil numerik seperti yang diharapkan.
4. Perlu dilakukan instalasi *lighting on site* untuk menunjang hasil data foto udara *Quadcopter* agar memiliki tingkat kecerahan yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Alidoost, F., Arefi, H. 2015. "An Image-Based technique for 3D Building Reconstruction Using Multi-View UAV Images". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W5*.
- Atkinson. 1996. "Close Range Photogrammetry and Machine Vision". Whistle Publishing. Scotland, UK.
- Biljecki, F. 2013. "The Concept of Level of Detail". *PhD Thesis Proposal*. Netherlands: TU Delft.
- Buckley, S.J., dkk. 2008. "Terrestrial *Laser* Scanning in geology: data acquisition, processing and accuracy considerations". *Journal of the Geological Society*, 165(3): 625-638.
- Chandler, J. H., dan Buckley. 2016. "Structure from Motion (SfM) photogrammetry vs terrestrial *laser* scanning". In Geoscience Handbook, by M. B Carpenter, dan C.M Keane. America: American Geoscience Institute and used with their permission.
- Alidoost, F. A. (2015). An Image Based Technique for 3D Building Reconstruction Using Multi View UAV Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W5*.
- Chandler, J., & Buckley, S. (2016). Structure from Motion (SfM) photogrammetry vs terrestrial *laser* scanning. In M. Carpenter, & C. Keane, *Geoscience Handbook*. America: American Geoscience Institute and used with their permission.
- Chiabrando, F., dkk. 2017. "Digital Invansions: From Point Clouds to Historical Building Object Modeling (H-BOM) of A Unesco WHL Site". *The International Archives of the*

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3.

- Cheng, H. M., dkk. 2015. "BIM applied in historical building documentation and refurbishing". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W7 2015, 25th International CIPA Symposium*.
- Clark, J. H. 1976. "Hierarchical geometric models for visible surface algorithms. In Communications of the Acm, (pp. 547-554). ACM.
- Fraser, C. 2015. "Advances in Close Range Photogrammetry". Wichmann/VDE Verlag, Belin & Offenbach, 257-268.
- Fariqan, A. 2018. "Analisa Hasil Pengukuran Koordinat Terrestrial Laser Scanner GLS – 2000". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Guerrero. 2011. "A Comparative Study of Three Image Matching Algorithm: Sift, Surf, and Fast". Logan: Master of Science in Civil and Environmental Engineering, Utah State University.
- Harintaka dan Hartono. 2009. "Pemodelan Ketidakstabilan Kamera dan Gerakan Pesawat Pada Saat Pemotretan Foto Udara Format Kecil". Yogyakarta: Universitas Gajahmada.
- Hidayat, H., dan Cahyono, A., B. 2015. "3D Reconstruction of Singosari Temple Using Terrestrial Images and Structure From Motion Algorithm". *ICOIRS 2015*.
- Hidayat, H., dan Cahyono, A., B. 2016. "Combined aerial and terrestrial images for complete 3D documentation of Singosari Temple based on Structure from Motion algorithm". Proceeding ICOIRS 2016.
- Liu, Y., dan Kang, J. 2014. "Application of Photogrammetry: 3D Modeling of a Historical Building". *Construction Research Congress 2014*.
- Naufatunnisa, S. 2017. "Pemodelan 3 Dimensi Candi Wringinlawang Menggunakan Metode Structure From

- Motion Untuk Dokumentasi Cagar Budaya”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Perpusnas RI. 2015. “Candi Jawi”. Diakses dari Perpustakaan Nasional Republik Indonesia: [http://candi.perpusnas.go.id/temples/deskripsi-jawa_timur-candi_jawi] pada 27 September 2017 pukul 15.00
- Quintero, M.S. 2008. “Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning”. The Learning Tools for Advanced Three Dimensional Surveying in Risk Awareness Project(3D Risk Mapping).
- Sutopo, M. 2014. “Merekam Jejak Masa Lalu Cagar Budaya Dalam Perspektif 3D”. Magelang: Balai Konservasi Borobudur Direktorat Jenderal Kebudayaan Kmenterian Pendidikan dan Kabudayaan.
- Snavely, N. 2010. “Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections”. *Proceedings of the IEEE*.
- Ulinuha, R. 2016. “Analisa Ketelitian dan Kesesuaian Pemodelan 3D dengan Pendekatan Geometri dan Teknik Structure From Motion (SFM) pada Obyek Bangunan”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Westoby, M.J., dkk. 2012. “Structure from Motion photogrammetry: a low cost effective tool for geoscience applications”. *Geomorphology*, 300-314.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemasangan marker dan pengamatan titik GCP



Barat



Selatan



Timur



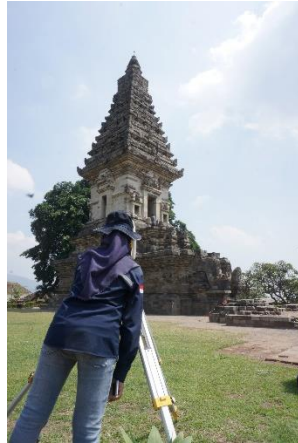
Utara

Gambar di atas merupakan dokumentasi arah mata angin saat pengamatan titik GCP B menggunakan GPS geodetik.

Lampiran 2. Pengukuran titik ICP Menggunakan Total Station



Mendirikan alat



Membidik titik ICP



Membidik titik ICP



Input nama titik ICP

Gambar di atas adalah dokumentasi proses pengukuran untuk memperoleh nilai titik ICP pada badan candi menggunakan alat Total Station.

Lampiran 3. Pengukuran Candi Jawi dengan Alat Terrestrial *Laser* Scanner (TLS)



Sphere

Sphere, yaitu alat bantu yang digunakan sebagai *marker* yang diletakkan menyebar dengan prinsip tertentu ketika akuisisi data lapangan untuk proses registrasi hasil pemindaian objek saat proses pengolahan data.



Pemasangan alat TLS ke statif



Centering alat

TLS diberdirikan dengan posisi *center* di atas titik GCP untuk kemudian dilakukan proses pindai (*scanning*) Candi Jawi.

Lampiran 4. Pengambilan data foto Candi Jawi



Kalibrasi kompas *Quadcopter*

Sebelum menerbangkan quadcopter untuk memperoleh data foto candi Jawi, wahana *quadcopter* dikalibrasi kompas terlebih dahulu agar orientasi arah yang terekam pada *quadcopter* dapat sesuai dengan kondisi lapangan tempat ia berada sebagai wuntuk mencegah terjadinya *fly away* ketika muncul kondisi *lost signal* di tengah-tengah proses terbang. Dengan melakukan kalibrasi kompas, *quadcopter* dapat mengunci lokasi *take off* sehingga fitur *eturn to Home*.



Persiapan take off

Selanjutnya melakukan *setting* pengambilan data foto, yaitu menerapkan *manual setting* seperti *shutter speed*, dan ISO agar foto yang diperoleh memiliki kualitas yang seragam.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Mataram, 25 Juli 1995. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal TK Tunjung Sari, SDN 13 Ampenan, SMPN 1 Siliragung, dan SMAN 1 Genteng. Setelah lulus dari SMA, penulis memilih melanjutkan kuliah jenjang strata satu (S1) dengan mengikuti jalur SNMPTN dan diterima di Teknik Geomatika FTSLK ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03311440000025. Di departemen Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian ilmu Fotogrametri. Penulis aktif sebagai anggota Himpunan Geomatika (HIMAGE) sebagai staff Departemen Hubungan Luar (Hublu) dan mengikuti beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh International Office, kampus dan di luar kampus.